

表 5-14 地位指数別成長予測モデル(神奈川地域:ヒノキ)

| 林齢 | 地位別樹高 | | | | | | 地位別平均 DBH | | | | | | 地位別平均単木材積 | | | | | | 地位別 ha 本数 | | | | | | 地位別 ha 材積 | | | | | |
|-----|-------|------|------|------|------|------|-----------|------|------|------|------|------|-----------|------|------|------|------|------|-----------|------|------|------|------|------|-----------|-----|-----|-----|------|------|
| | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 |
| 5 | 4.4 | 5.1 | 5.9 | 6.6 | 7.3 | 8.1 | 10.2 | 11.4 | 12.4 | 13.5 | 14.5 | 15.6 | 0.04 | 0.05 | 0.07 | 0.08 | 0.10 | 0.12 | 1695 | 1565 | 1459 | 1370 | 1295 | 1229 | 66 | 80 | 95 | 111 | 127 | 145 |
| 10 | 6.3 | 7.3 | 8.4 | 9.4 | 10.5 | 11.5 | 13.0 | 14.5 | 16.0 | 17.4 | 18.8 | 20.3 | 0.07 | 0.10 | 0.13 | 0.16 | 0.19 | 0.24 | 1408 | 1296 | 1204 | 1127 | 1062 | 1004 | 104 | 127 | 152 | 178 | 206 | 236 |
| 15 | 7.7 | 9.0 | 10.2 | 11.5 | 12.8 | 14.1 | 15.0 | 16.8 | 18.5 | 20.3 | 22.0 | 23.7 | 0.11 | 0.14 | 0.19 | 0.24 | 0.29 | 0.36 | 1263 | 1160 | 1075 | 1004 | 943 | 890 | 135 | 166 | 200 | 236 | 275 | 317 |
| 20 | 8.8 | 10.3 | 11.8 | 13.2 | 14.7 | 16.2 | 16.6 | 18.6 | 20.6 | 22.6 | 24.6 | 26.6 | 0.14 | 0.19 | 0.24 | 0.31 | 0.39 | 0.48 | 1170 | 1073 | 992 | 925 | 866 | 815 | 163 | 201 | 243 | 289 | 338 | 392 |
| 25 | 9.8 | 11.4 | 13.0 | 14.7 | 16.3 | 17.9 | 17.9 | 20.1 | 22.3 | 24.5 | 26.8 | 29.1 | 0.17 | 0.23 | 0.30 | 0.39 | 0.49 | 0.61 | 1104 | 1010 | 933 | 867 | 811 | 761 | 188 | 233 | 282 | 337 | 397 | 462 |
| 30 | 10.6 | 12.4 | 14.2 | 15.9 | 17.7 | 19.5 | 19.0 | 21.4 | 23.8 | 26.2 | 28.7 | 31.3 | 0.20 | 0.27 | 0.36 | 0.46 | 0.59 | 0.74 | 1054 | 962 | 887 | 823 | 768 | 720 | 210 | 262 | 319 | 382 | 452 | 530 |
| 35 | 11.3 | 13.2 | 15.1 | 17.0 | 18.9 | 20.8 | 20.0 | 22.6 | 25.2 | 27.8 | 30.5 | 33.3 | 0.23 | 0.31 | 0.42 | 0.54 | 0.69 | 0.87 | 1013 | 924 | 851 | 788 | 734 | 686 | 231 | 289 | 353 | 425 | 505 | 594 |
| 40 | 12.0 | 14.0 | 16.0 | 18.0 | 20.0 | 22.0 | 20.9 | 23.6 | 26.4 | 29.2 | 32.1 | 35.1 | 0.26 | 0.35 | 0.47 | 0.61 | 0.79 | 1.00 | 981 | 893 | 821 | 759 | 706 | 659 | 250 | 314 | 385 | 465 | 555 | 656 |
| 45 | 12.6 | 14.7 | 16.8 | 18.9 | 21.0 | 23.1 | 21.7 | 24.5 | 27.4 | 30.4 | 33.5 | 36.8 | 0.28 | 0.39 | 0.52 | 0.68 | 0.88 | 1.13 | 953 | 867 | 796 | 735 | 682 | 636 | 268 | 337 | 415 | 503 | 603 | 716 |
| 50 | 13.1 | 15.3 | 17.5 | 19.7 | 21.9 | 24.0 | 22.4 | 25.4 | 28.4 | 31.6 | 34.9 | 38.3 | 0.31 | 0.43 | 0.57 | 0.75 | 0.98 | 1.26 | 930 | 845 | 774 | 715 | 662 | 616 | 285 | 359 | 443 | 539 | 648 | 773 |
| 55 | 13.6 | 15.9 | 18.1 | 20.4 | 22.7 | 24.9 | 23.1 | 26.2 | 29.3 | 32.6 | 36.1 | 39.8 | 0.33 | 0.46 | 0.62 | 0.82 | 1.07 | 1.38 | 910 | 826 | 756 | 697 | 645 | 599 | 300 | 380 | 470 | 574 | 692 | 828 |
| 60 | 14.0 | 16.4 | 18.7 | 21.0 | 23.4 | 25.7 | 23.6 | 26.9 | 30.2 | 33.6 | 37.3 | 41.1 | 0.35 | 0.49 | 0.67 | 0.89 | 1.17 | 1.51 | 892 | 809 | 740 | 681 | 629 | 583 | 315 | 399 | 495 | 606 | 734 | 882 |
| 65 | 14.4 | 16.8 | 19.2 | 21.6 | 24.0 | 26.4 | 24.2 | 27.5 | 30.9 | 34.5 | 38.3 | 42.4 | 0.37 | 0.53 | 0.72 | 0.95 | 1.26 | 1.64 | 877 | 794 | 726 | 667 | 616 | 570 | 328 | 417 | 519 | 637 | 773 | 933 |
| 70 | 14.8 | 17.3 | 19.7 | 22.2 | 24.6 | 27.1 | 24.7 | 28.1 | 31.7 | 35.4 | 39.3 | 43.6 | 0.40 | 0.56 | 0.76 | 1.02 | 1.34 | 1.76 | 863 | 781 | 713 | 655 | 604 | 558 | 341 | 434 | 542 | 666 | 811 | 982 |
| 75 | 15.1 | 17.6 | 20.2 | 22.7 | 25.2 | 27.7 | 25.1 | 28.7 | 32.3 | 36.2 | 40.3 | 44.7 | 0.41 | 0.58 | 0.80 | 1.08 | 1.43 | 1.88 | 851 | 770 | 702 | 644 | 593 | 548 | 353 | 450 | 563 | 694 | 848 | 1029 |
| 80 | 15.4 | 18.0 | 20.6 | 23.2 | 25.7 | 28.3 | 25.6 | 29.2 | 32.9 | 36.9 | 41.2 | 45.7 | 0.43 | 0.61 | 0.84 | 1.14 | 1.51 | 2.00 | 840 | 759 | 692 | 634 | 583 | 538 | 364 | 465 | 583 | 720 | 882 | 1074 |
| 85 | 15.7 | 18.3 | 21.0 | 23.6 | 26.2 | 28.8 | 26.0 | 29.7 | 33.5 | 37.6 | 42.0 | 46.7 | 0.45 | 0.64 | 0.88 | 1.19 | 1.59 | 2.11 | 830 | 750 | 683 | 625 | 575 | 529 | 375 | 480 | 602 | 746 | 915 | 1117 |
| 90 | 16.0 | 18.6 | 21.3 | 24.0 | 26.6 | 29.3 | 26.3 | 30.1 | 34.0 | 38.2 | 42.7 | 47.6 | 0.47 | 0.66 | 0.92 | 1.25 | 1.67 | 2.22 | 821 | 741 | 675 | 617 | 567 | 521 | 384 | 493 | 620 | 769 | 946 | 1159 |
| 95 | 16.2 | 18.9 | 21.6 | 24.3 | 27.0 | 29.7 | 26.7 | 30.5 | 34.5 | 38.8 | 43.5 | 48.5 | 0.48 | 0.69 | 0.95 | 1.30 | 1.75 | 2.33 | 813 | 734 | 667 | 610 | 559 | 514 | 394 | 505 | 637 | 792 | 976 | 1198 |
| 100 | 16.5 | 19.2 | 21.9 | 24.7 | 27.4 | 30.2 | 27.0 | 30.9 | 35.0 | 39.4 | 44.1 | 49.3 | 0.50 | 0.71 | 0.99 | 1.35 | 1.82 | 2.44 | 806 | 727 | 660 | 603 | 553 | 508 | 402 | 517 | 653 | 813 | 1005 | 1236 |
| 105 | 16.7 | 19.4 | 22.2 | 25.0 | 27.8 | 30.5 | 27.3 | 31.2 | 35.4 | 39.9 | 44.8 | 50.1 | 0.51 | 0.73 | 1.02 | 1.40 | 1.89 | 2.54 | 800 | 720 | 654 | 597 | 547 | 502 | 410 | 528 | 668 | 833 | 1032 | 1272 |
| 110 | 16.9 | 19.7 | 22.5 | 25.3 | 28.1 | 30.9 | 27.5 | 31.6 | 35.8 | 40.4 | 45.4 | 50.8 | 0.53 | 0.75 | 1.05 | 1.44 | 1.95 | 2.63 | 794 | 715 | 649 | 592 | 541 | 496 | 418 | 539 | 682 | 852 | 1057 | 1307 |
| 115 | 17.0 | 19.9 | 22.7 | 25.5 | 28.4 | 31.2 | 27.8 | 31.9 | 36.2 | 40.9 | 45.9 | 51.5 | 0.54 | 0.77 | 1.08 | 1.48 | 2.02 | 2.73 | 788 | 709 | 643 | 587 | 536 | 491 | 425 | 549 | 695 | 870 | 1082 | 1340 |
| 120 | 17.2 | 20.1 | 22.9 | 25.8 | 28.7 | 31.5 | 28.0 | 32.2 | 36.6 | 41.3 | 46.4 | 52.2 | 0.55 | 0.79 | 1.11 | 1.53 | 2.08 | 2.82 | 783 | 704 | 639 | 582 | 532 | 486 | 432 | 558 | 708 | 887 | 1105 | 1371 |
| 125 | 17.4 | 20.2 | 23.1 | 26.0 | 28.9 | 31.8 | 28.3 | 32.4 | 36.9 | 41.7 | 46.9 | 52.8 | 0.56 | 0.81 | 1.13 | 1.56 | 2.14 | 2.91 | 778 | 700 | 634 | 578 | 527 | 482 | 438 | 567 | 720 | 904 | 1127 | 1401 |
| 130 | 17.5 | 20.4 | 23.3 | 26.3 | 29.2 | 32.1 | 28.5 | 32.7 | 37.2 | 42.1 | 47.4 | 53.3 | 0.57 | 0.83 | 1.16 | 1.60 | 2.19 | 2.99 | 774 | 696 | 630 | 574 | 523 | 478 | 444 | 575 | 731 | 919 | 1147 | 1429 |
| 135 | 17.6 | 20.6 | 23.5 | 26.5 | 29.4 | 32.3 | 28.6 | 32.9 | 37.5 | 42.4 | 47.8 | 53.9 | 0.58 | 0.84 | 1.18 | 1.64 | 2.24 | 3.07 | 770 | 692 | 627 | 570 | 520 | 475 | 450 | 583 | 742 | 933 | 1167 | 1456 |
| 140 | 17.8 | 20.7 | 23.7 | 26.6 | 29.6 | 32.6 | 28.8 | 33.2 | 37.8 | 42.7 | 48.2 | 54.4 | 0.59 | 0.86 | 1.21 | 1.67 | 2.30 | 3.14 | 766 | 688 | 623 | 567 | 516 | 471 | 455 | 590 | 752 | 947 | 1185 | 1481 |
| 145 | 17.9 | 20.9 | 23.8 | 26.8 | 29.8 | 32.8 | 29.0 | 33.4 | 38.0 | 43.1 | 48.6 | 54.9 | 0.60 | 0.87 | 1.23 | 1.70 | 2.34 | 3.22 | 763 | 685 | 620 | 563 | 513 | 468 | 460 | 597 | 761 | 960 | 1203 | 1506 |
| 150 | 18.0 | 21.0 | 24.0 | 27.0 | 30.0 | 33.0 | 29.2 | 33.5 | 38.2 | 43.3 | 49.0 | 55.3 | 0.61 | 0.88 | 1.25 | 1.73 | 2.39 | 3.29 | 760 | 682 | 617 | 561 | 510 | 465 | 465 | 603 | 770 | 972 | 1220 | 1529 |

5.3 成長予測モデルの地域間比較

作成した成長予測モデルの地域間比較を行う。図 5-31～図 5-34 にそれぞれの地域で作成した成長モデルの中央線を比較した。

樹高について、スギでは 40 年生までの若齢林時の成長が地域によって差が大きいことがわかる。100 年生を超えてくると、地域によって 30m 付近に収束するグループと 25m 付近に収束するグループがあり、地域により異なる。また、神奈川では当初より成長が悪く成長後も樹高は低い水準となるが、福島（会津）では当初は成長が悪いものの高齢級では上位に位置するようになる。このように、地域によって成長パターンが異なっていることがわかる。ヒノキは、スギと比べ樹高は 20m 前後で収束している。

平均 DBH では、スギでは若齢時の成長の差は比較的大きいものの、茨城地域を除いて、成長するにつれて 30cm～40cm の範囲に収束していった。茨城地域では高齢級となっても直径の成長が続く傾向となった。ただし、120 年生以降の高齢級林分についてはデータが不足しているため参考に留める必要がある。同様に、ヒノキでは神奈川で高齢級においても直径成長が持続する傾向となった。

平均単木材積については平均 DBH と概ね同じ傾向であった。

ha 当たり本数について、スギでは概ね 500 本/ha 程度に収束し、ヒノキでは福島（浜通り）と神奈川を除き 1000 本/ha 程度に収束した。

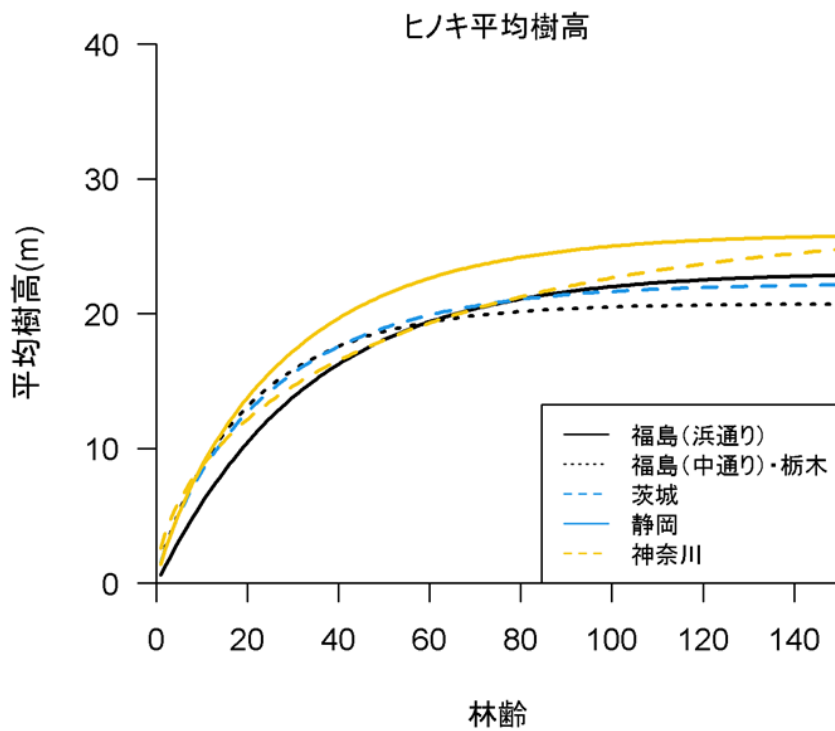
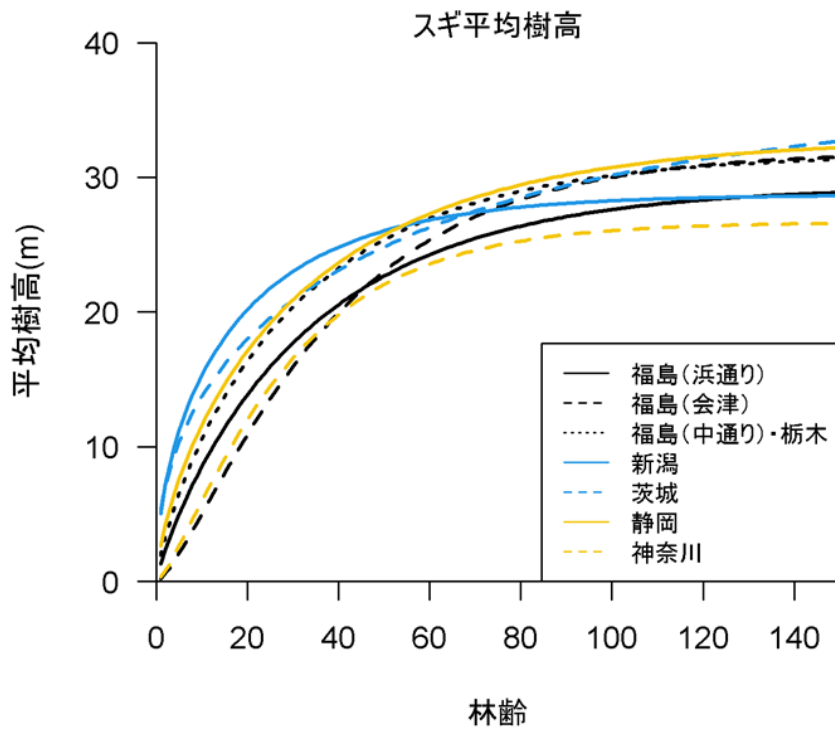


図 5-31 各地域成長モデルの中央線比較(平均樹高)

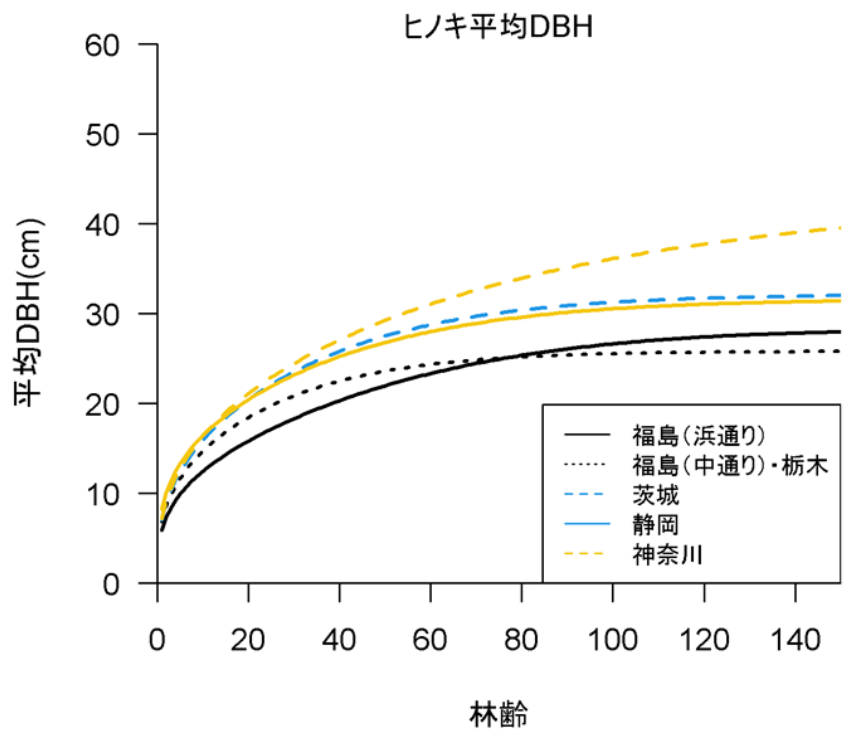
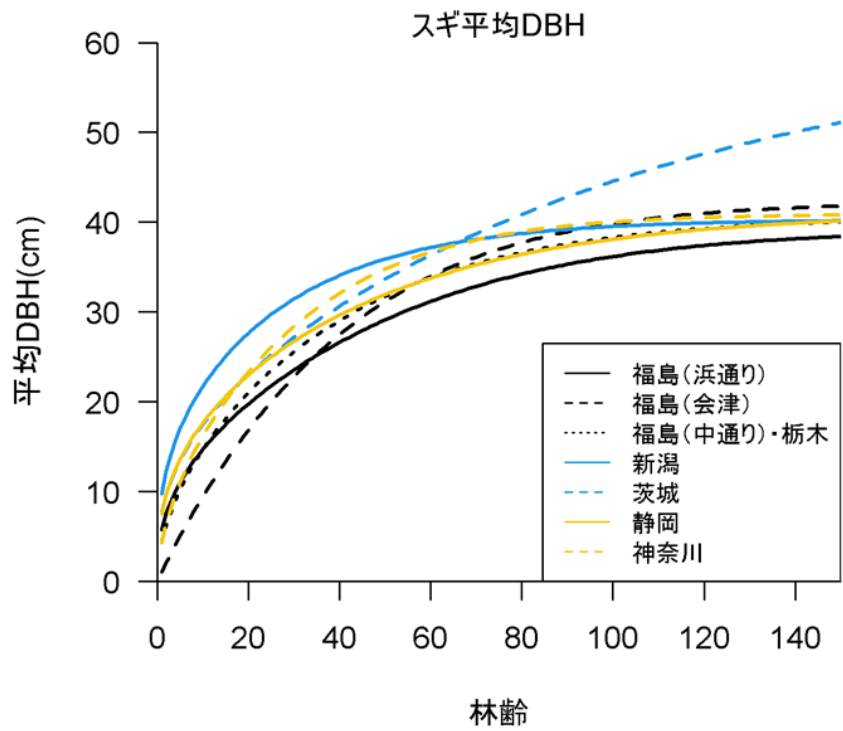


図 5-32 各地域成長モデルの中央線比較(平均胸高直径)

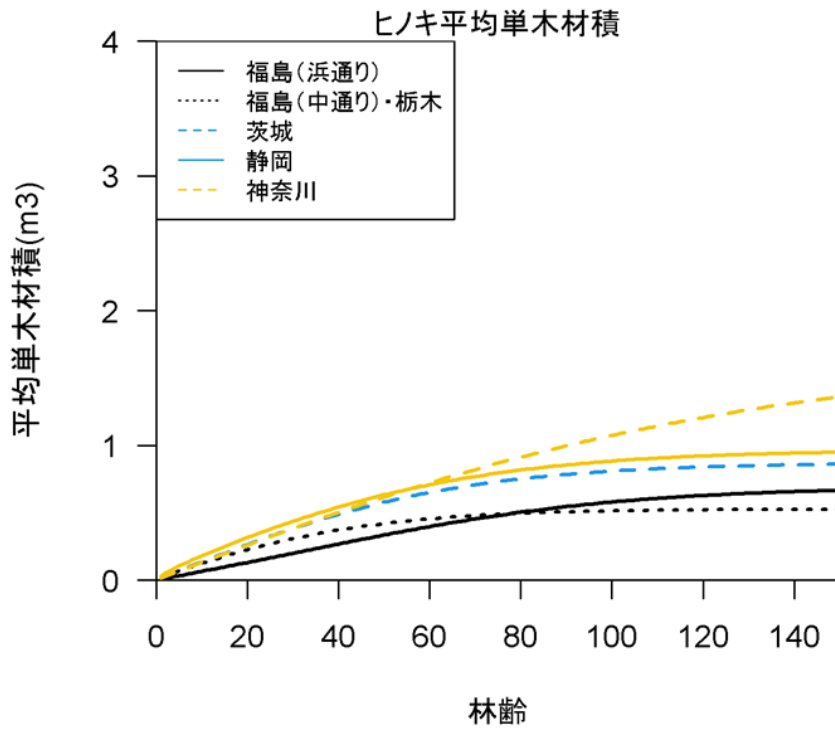
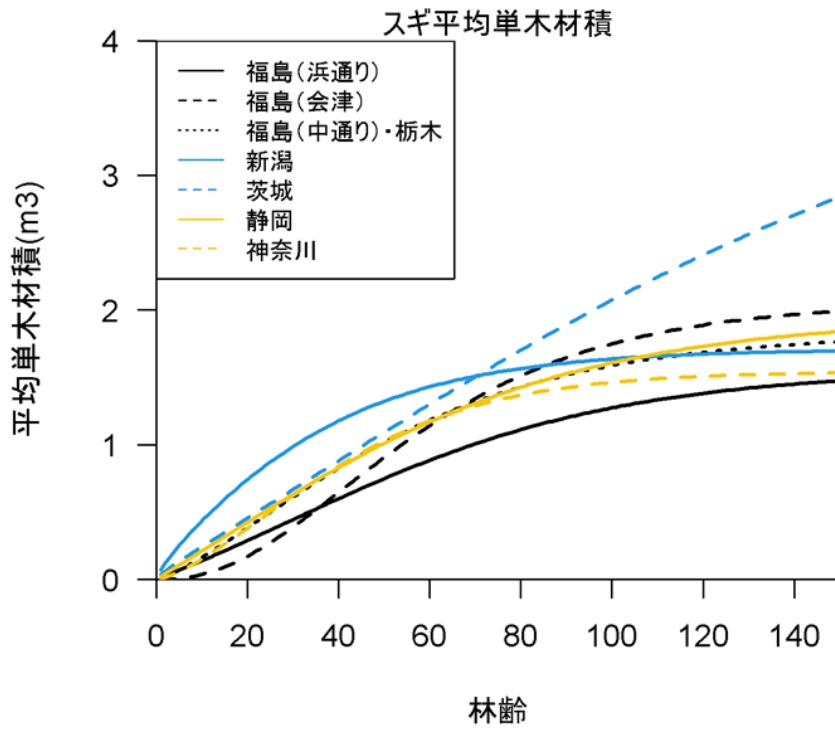


図 5-33 各地域成長モデルの中央線比較(平均単木材積)

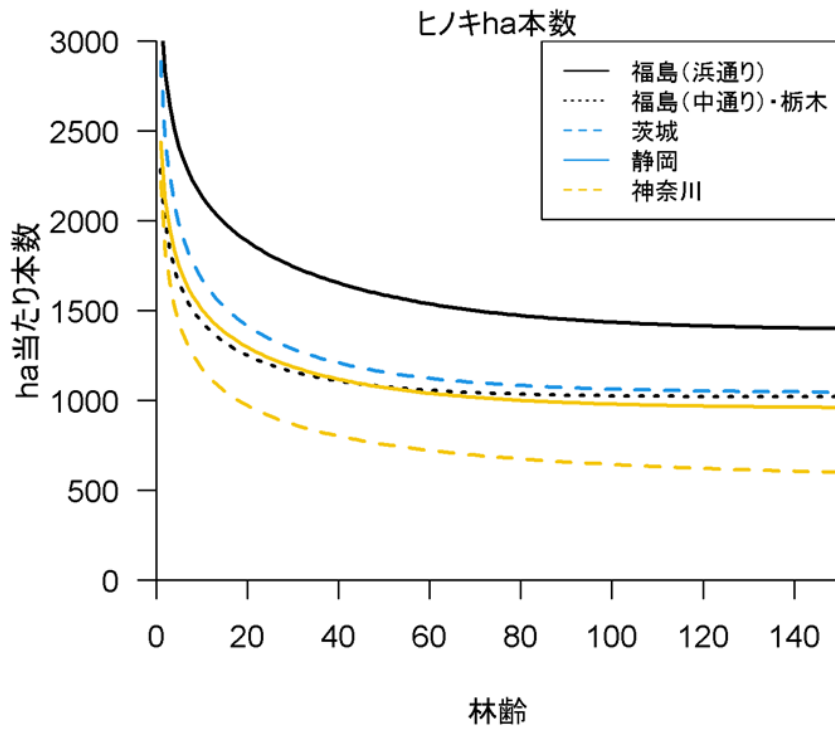
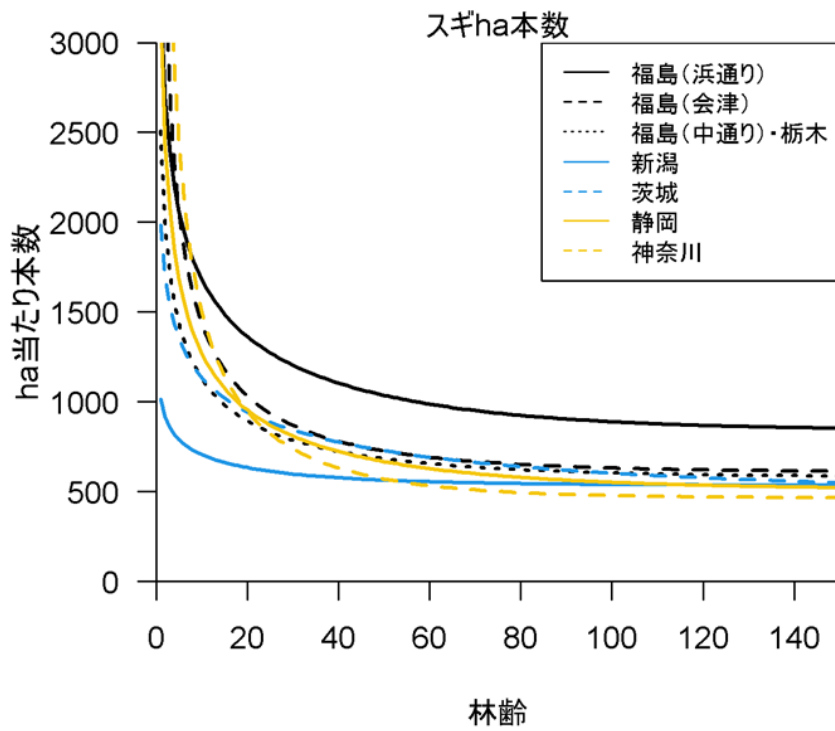


図 5-34 各地域成長モデルの中央線比較(ha 当たり本数)

5.4 成果のまとめ

本業務ではスギ7地域、ヒノキ5地域にグループを分けた上で、航空レーザ計測データを用いて成長予測モデルを作成した。現行収穫予想表との比較の結果、平均樹高はどの地域においても現実林分よりも過小評価となっており、今回作成した成長モデルは予測値を大幅に上方修正するものとなった。

樹高成長曲線を基に求めた地域別の地位指数曲線に基づき、平均胸高直径、平均単木材積、ha 当たり本数の予測値を求めた。直径・材積については今回作成した地位指数曲線別の成長曲線により、概ね現実林分の差異を表現できていた。ただし、ha 当たり本数については現実林分でのばらつきが大きく、課題が残る結果となった。

成長モデルの地域間比較では、成長曲線の中央線で各地域を比較した。若齢時の成長パターンと高齢時の成長パターンが地域によって異なる傾向を示し、地域特性が表れている可能性がある。

5.5 今後の検討事項

➤ 航空レーザ計測データの蓄積と継続調整

今回各地域で算出した成長予測モデルは航空レーザ計測データを基に作成したものであるが、一部の地域では国有林における計測データを得られなかったため民有林で計測されたデータを用いた。この場合、国有林と民有林で地位の違いなどがあった場合、実際の国有林の成長と乖離が出てくる可能性がある。また、20年生以下や80年生以上などサンプル数が十分に得られていない林齢の範囲ではモデルの信頼性が低下する。

成長予測モデルはその時々々の状況を反映したもので、施業の方向性が変われば将来の予測値も変わるものである。成長予測モデルは継続的に調整することが必要であり、また今後の調整時に十分なサンプルが得られるように航空レーザデータの蓄積が必要である。

➤ データスクリーニングの検討

今回の解析では、メッシュ内が単一の林相及び小班となるメッシュのみを解析対象とし、またメッシュ内の立木本数、単木の形状比からデータのスクリーニングを実施した。これによりある程度異常値を排除できたと考えているが、一部地域では作成した成長モデルの範囲外に多数のデータが残っている。この原因としては、小班の森林簿に実際と異なる林齢が入力されている、森林資源解析時の林相区分の誤り、樹頂点の誤抽出などが考えられる。幼齢林や高齢林といったサンプル数が少ない林分でこのような異常値が含まれてしまうと推定される成長曲線の形状に大きく影響を与える可能性があるため、データの適切なスクリーニング方法について継続して検討が必要である。

➤ 林齢情報の精度向上

林齢の精度については過年度業務から継続して指摘されている事項である。今回の調査

範囲においても、伐採の情報が反映されておらず高齢級のままとなっている林分などが見受けられた。新たな成長予測モデルは林齢に対する上層平均樹高を基盤として解析を実施するものであるため、この精度向上は、常に検討する必要がある。

日常の業務の中において、林齢の精度向上に関する情報収集を行い蓄積することと同時に、抜本的に林齢を推定しなおす方法も検討の余地がある。例えば、Vega & St-Onge (2009)⁸では1945年から2003年までの空中写真から時系列のDSM（樹冠高モデル）を作成し、そこから20mメッシュ毎の地位指数と林齢を推定するモデルを構築している。この方法を適用するには既存の樹高一林齢モデルが必要となるが、今回作成した成長予測モデルを仮データとして適用可能かどうか検証することも可能であると考えられる。

➤ 作成した成長予測モデルの適用可能範囲

本業務で作成した成長モデルは、既存の航空レーザ計測データから森林資源解析によって作成された胸高直径推定式を用いて単木材積やha当たり本数を計算している。そのため、胸高直径推定式の精度に大きく影響を受けることになる。各推定式が地理的にどの範囲まで適用可能なのか検討が必要である。

また、成長予測モデルの作成に用いた航空レーザ計測データの位置や対象林分の齢級分布等を確認し、それが同じグループ内の国有林を代表できているのか、といった確認も必要と考えられる。

➤ レーザデータを活用した今後の成長予測のありかた

航空レーザで得られるデータは、樹冠を形成する上層木を捉えたものであり、劣勢木も含めて全木が調査される地上調査で得られるものとは異なる。既存の収穫予想表の作成方法は地上調査を前提としたものであるため、航空レーザのデータから何が得られ、そこからどのように収穫表を調製するかは改めて整理する必要がある。

また、収穫予想表という表の形式にとらわれず、システム収穫表のように植栽本数や間伐シナリオに応じた予想をGISベースで計算可能となるようなシステムなど、レーザデータを活用した今後の森林資源の成長予測のありかたについても検討を進めていくことが望ましい。

⁸ Véga, C., & St-Onge, B. (2009). Mapping site index and age by linking a time series of canopy height models with growth curves. *Forest Ecology and Management*, 257(3), 951-959.